УДК 504.054 52–56. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-4-58-63

Сравнительный анализ влияния объектов традиционной и альтернативной энергетики на окружающую среду

Ю. С. Борисова, Н. С. Самарская
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Активное изъятие энергетического сырья из недр, а также техногенное воздействие источников энергии, базирующихся на традиционном топливе, приводят к необратимым экологическим последствиям. Для минимизации этого воздействия необходимо отталкиваться от двух главных условий: поиск альтернативных источников энергии, усовершенствование существующих.
Постановка задачи. Задачей данного исследования является сравнительный анализ объектов традиционной и альтернативной энергетики и выявления тех из них, которые оказывают наибольшее негативное воздействие на окружающую среду.
Теоретическая часть. Сравнительный анализ различных систем получения энергии отображает экологическую и экономическую составляющие каждой. В качестве примера рассмотрены теплоэлектростанция (ТЭС), атомная электростанция (АЭС) и ветроэнергетическая станция (ВЭС). Негативное влияние на окружающую среду в большей степени оказано на атмосферный воздух, в связи с чем рассмотрены данные о количестве загрязняющих веществ. Также для экспертной оценки упомянутых станций построена модифицированная матрица Леопольда.
Выводы. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что среди рассмотренных электростанций станция на базе ветровой энергии является самой благоприятной для здоровья населения.

Ключевые слова: ветровая энергия, окружающая среда, загрязнение атмосферы, альтернативный источник энергии, традиционная энергетика, сравнение энергосистем, зеленая энергия.

Для цитирования: Борисова, Ю. С. Сравнительный анализ влияния объектов традиционной и альтернативной энергетики на окружающую среду / Ю. С. Борисова, Н. С. Самарская // Безопасность техногенных и природных систем. — 2021. — № 4. — С. 58–63. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-4-58-63

Comparative analysis of the impact of objects of traditional and alternative energy on the environment

Yu. S. Borisova, N. S. Samarskaya
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. Active withdrawal of energy raw materials from the subsoil, as well as technogenic impact from energy sources based on traditional fuel, lead to irreversible environmental consequences. To minimize this impact, it is necessary to start from two main conditions: the search for alternative energy sources and the improvement of the existing ones.
Problem Statement. The objective of this study is a comparative analysis of energy facilities in order to identify the plant that has the greatest negative impact on the environment.
Theoretical part. The comparative analysis of various energy production systems reflects the ecological and economic components of each. For example, a thermal power plant (TPP), a nuclear power plant (NPP) and a wind power plant (WPP) are considered. The negative impact on the environment is mainly exerted on the atmospheric air, in connection with which the data on the amount of pollutants are considered. Also, a modified Leopold matrix was constructed for an expert assessment of the mentioned stations.
Conclusions. The results of the analysis show that among the considered power plants, the wind power plant is the most environmentally friendly and favorable for the health of the population.

Keywords: wind energy, environment, air pollution, alternative energy source, traditional energy, comparison of energy systems, green energy.

For citation: Yu. S. Borisova, N. S. Samarskaya. Comparative analysis of the impact of objects of traditional and alternative energy on the environment. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2021; 4: 58−63. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-4-58-63

Введение. Энергетика играет важную роль в развитии экономики страны, это обусловлено тем, что любой производственный процесс не может быть реализован без применения энергии. В настоящее время в сфере энергетики имеются две основные проблемы: истощение ресурсов и техногенное воздействие на окружающую среду. Исчерпаемость, или невозобновляемость, природных ресурсов усугубляется неравномерностью их расположения по всей планете. Потребление ресурсов приводит к колоссальным изменениям в биосфере. Изъятие природных ресурсов из земной коры нарушает круговорот веществ в природе. Это влечет за собой ряд последствий, таких как изменение ландшафтов, распределение грунтовых вод, деградация почв, изъятие площадей природных экосистем как в процессе добычи, так и в процессе реализации энергии [1]. Проблему истощения природных ресурсов можно решить двумя путями: использование иных (альтернативных) источников энергии и энергосбережение, т. е. повышение энергоэффективности существующих энергетических станций и рациональное их использование. Проблема, связанная с воздействием предприятий энергетики на окружающую среду, увеличивается с ростом темпов производства энергии. Так, на сегодняшний день техногенные выбросы в атмосферу в виде парниковых газов от энергетической отрасли составляют более 50 %.

Большая часть мировой вырабатываемой энергии приходится на тепловые электростанции. При сжигании топлива на ТЭС в атмосферный воздух выделяются загрязняющие его вещества. Попадая в окружающую среду, они наносят необратимый вред здоровью людей. Проникая в больших количествах в организм человека, могут вызывать острые отравления, оказывать раздражающее действие на слизистые оболочки органов дыхания и зрения. Окислы алюминия и кремния способны разрушать ткани лёгких, приводя к такому заболеванию, как силикоз. В местах расположения объектов ТЭС уменьшается количество кислорода в атмосфере, это объясняется тем, что весомая его доля расходуется на сжигание топлива.

Исследованиями в области влияния ТЭС на окружающую среду занимались Р. Б. Гольдман, А. С. Носков, А. А. Перегоненко, Д. А. Крылов и многие другие. Д. А. Крылов представил удельные показатели содержания токсичных элементов в летучей золе на российских ТЭС, эти данные позволили утверждать, что ТЭС являются источниками загрязнения окружающей среды [2]. В исследованиях Института фундаментальных проблем биологии РАН оценено загрязнение Челябинска и его окрестностей тяжелыми металлами (Cu, Co, Ni, Zn, Pb, Cd, Cr, Mo, Hg), источником которых являются выбросы ТЭС и котельных, сжигающие уголь [3]. В. В. Ядутов, Т. И. Петров, Ю. Н. Зацаринная классифицировали формы влияния ТЭС на окружающую среду:

— физические, связанные с акустическим, электромагнитным, радиационным, тепловым воздействием;

— непосредственные, связанные с привнесением или изъятием из природной среды различных компонентов;

— косвенные, включающие в себя гравитационное осаждение аэрозолей и твердых частиц [4].

Оценку влияния АЭС на окружающую среду дали в своих работах Ю. А. Градобоева, И. В. Кондратьева, А. О. Маргаринт, А. С. Пузанков, М. Р. Гафаров. Международным агентством по атомной энергетике в 1988 году была разработана семиуровневая шкала ядерных событий для единообразия оценки чрезвычайных случаев, связанных с аварийными радиационными выбросами в окружающую среду на атомных станциях. Согласно ей, авария на АЭС «Три-Майл-Айленд» в США и авария в Уиндскейле (Великобритания) были отнесены к пятому уровню, а авария на Чернобыльской АЭС — к седьмому уровню опасности (глобальному). При сравнении показателей эксплуатации ТЭС и АЭС одинаковой мощности очевидно, что степень негативного воздействия ТЭС на окружающую среду значительно выше.

А. И. Запорожец, Е. И. Соснина, Б. В. Ермоленко, М. А. Рыженков, В. Е. Вавилов, Е. В. Андреева, Г. В. Пачурин, В. Н. Безносов рассматривали влияние ветряных электростанций на окружающую среду при их строительстве и эксплуатации. Согласно исследованиям Ю. А. Ролика, прямое физическое воздействие ВЭУ в основном связано с прокладкой фундамента, подъездных дорог и кабелей [5]. А. В. Горностаеми А. В. Булековым подсчитано, что в течение жизненного цикла ВЭС, состоящей из 12 установок, будет произведено 2079 ГВт/ч электроэнергии, что сократит выброс в атмосферу 2 491 200 тонн CO_2 [6].

Как показывает проведенный анализ, ни одна из представленных работ не содержит сравнительного анализа влияния на окружающую среду всех трех энергосистем (ТЭС, АЭС и ВЭС).

Постановка задачи. Значительного сокращения негативного воздействия на атмосферу можно добиться переходом к альтернативной энергии. Перспективы развития комплекса возобновляемых источников энергии набирают темпы, в частности, это касается ветроэнергетики, которая является относительно молодой отраслью в нашей стране. Актуальность ВЭС заключается в том, что сырьем для получения электроэнергии является ветер, неисчерпаемый источник, это колоссально снижает потребление ресурсов планеты [7]. Целью

данного исследования является сравнительный анализ источников энергии с выбором объекта, оказывающего наибольшую негативную нагрузку на окружающую среду.

Теоретическая часть. Для сравнения ВЭС с традиционными источниками энергии (ТЭС и АЭС) был проведен анализ и выявлены факторы, негативно влияющие на окружающую среду.

ТЭС: влияние на атмосферный воздух. Выбросы от ТЭС, образующиеся при сжигании топлива, содержат загрязняющие вещества: пылевые частицы, углекислый газ, оксид азота, оксид серы, летучую золу, серный и сернистый ангидрид, фтористые загрязнения, газообразные продукты неполного сгорания. Для уменьшения концентрации загрязняющих веществ в приземном слое воздуха котельные ТЭС, как правило, оснащают дымовыми трубами высотой 100–200 м. За счет этого происходит увеличение площади рассеивания на десятки, а при ветреной погоде — на сотни километров [8, 9].

Влияние ТЭС на почву. При сгорании угля образуется большое количество золошлаковых отходов, для хранения которых необходимы территории, вследствие чего для этих нужд отчуждаются земли. Помимо этого, в золошлаковых отвалах присутствует радиационный фон.

Влияние ТЭС на водные объекты. Эксплуатация ТЭС подразумевает использование большого объема воды, которая поступает из ближайшего водного объекта, проходит цикл и возвращается обратно. При этом вода является источником теплового загрязнения, приводящего к отмиранию водной флоры и фауны, изменению гидрологических показателей, испарению, размыву, трансформации микроклимата.

АЭС: влияние на атмосферный воздух. Воздействие АЭС на окружающую среду начинается с момента строительства и продолжает существовать даже после эксплуатации. Так, от АЭС в атмосферу поступают аэрозольные и газовые выбросы. Радионуклиды, как правило, являются долгоживущими, и с каждым годом, накапливаясь в биосфере, увеличивают дозовую нагрузку. Самый опасный — изотоп водорода, период полураспада которого равен 12,3 года, он образуется при облучении воды, частично переходящей в пар и поступающей в воздух. Радиация разрушает ткани растений и животных, приводит к мутациям, бесплодию, а при большом облучении — к гибели людей и животных [10].

Влияние АЭС на водные объекты. Только 40% использованной воды возвращается в цикл, притом с отходами. Радиоактивные вещества, попавшие в реки, моря, океаны, поглощаются водными растениями и животными, которые по пищевой цепи возвращаются в человеческий организм.

Влияние АЭС на почву. С поверхности почвы радиоактивные вещества попадают в корни растений, а далее — в организм животных, в том числе сельскохозяйственных [11].

ВЭС: влияние на атмосферный воздух. Характер и источники загрязнения атмосферы при строительстве ВЭС аналогичны стандартным объектам капитального строительства. Транспортные средства и строительные устройства, сварочные и покрасочные работы, использование сыпучих строительные материалов — основные источники загрязнения окружающей среды. На данном этапе в окружающую среду попадают следующие загрязняющие вещества: оксид углерода, диоксид серы, оксид и диоксид азота, оксиды железа и марганца, бензин, керосин, сажа, пыль неорганическая, фтористые соединения и др. При эксплуатации ВЭС наблюдается значительное сокращение потерь теплоты. Так, например, один генератор мощностью 1 МВт приводит к сокращению выбросов CO_2 на 1800 тонн в год, что в масштабах существующих ВЭС составляет около 900 млн тонн в год. Загрязнение на этапе эксплуатации настолько малы, что принято их не учитывать. Загрязняющие вещества выделяются только в процессе производства компонентов ветроустановки, к ним относятся оксид углерода, оксид и диоксид азота, диоксид серы, бензин, керосин, сажа, неорганическая пыль, оксиды железа и марганца, фтористые соединения и другие вещества [12, 13].

Влияние ВЭС на водные объекты. Воздействие на гидросферу практически отсутствует. Вода, расходуемая при строительстве, как правило, используется безвозвратно в цементных растворах. Возможными загрязнителями могут быть ливневые сточные воды, содержащие в себе взвешенные вещества и нефтепродукты.

Влияние ВЭС на почву. На этапе строительства образуются отходы в виде бетона в кусковой форме, битума, строительного щебня, асфальта, лома цветных и черных металлов, остатков сварочных электродов, кабелей, проводов. На этапе эксплуатации негативное влиянии отсутствует, более того, территории, занятые под строительство ВЭС, составляют 1% от всей станции, что позволяет использовать территорию для с.-х. нужд.

Воздействие шума. Шум от ветровой станции, состоящей из 10 ветрогенераторов, на расстоянии 350 м составляет 35–45 дБА, что является допустимым показателем. Для сравнения: автомобиль, движущийся со скоростью 65 км/ч, на расстоянии 100 м создает шум в 55 дБА, а фоновый шум в сельском районе ночью

варьируется в диапазоне 20–40 дБА. Влияние достаточно субъективно и больше зависит от индивидуальных факторов восприятия звука.

Влияние вибрации. Вибрация на этапе эксплуатации связана с движением лопастей. Согласно расчетным данным, ветроэнергетическая установка (ВЭУ) современной конструкции не передает вибрационные волны на окружающие объекты, если масса её подвижной части в 16 и более раз превышает вес её подвижной части [14].

С целью сравнения количественных характеристик выбросов в атмосферу от объектов энергетики составлена табл. 1.

Таблица 1

Годовой выброс загрязняющих веществ в окружающую среду
от объектов энергетики мощностью 1000 МВт

Загрязняющее вещество		ТЭС	АЭС	ВЭС
NOx, т		20 900	74	-
CO, т		210	49	-
CO_2, т		6 млн	6700	-
Твердые частицы, т		4500	-	-
Мазутная зола/сажа, т		73 000	3	-
Радионуклиды, ТБк	ИРГ	-	375	-
	Йод	-	0,018	-
	CO^{60}	-	0,074	-
	Cs^{134}	-	0,0009	-
	Cs^{137}	-	0,002	-

На основе метода экспертной оценки авторами построена модифицированная матрица Леопольда для объектов энергетики (табл. 2). Влияние от ТЭС, АЭС и ВЭС на объекты воздействия оцениваются по трехбалльной шкале, где 0 баллов — отсутствие воздействия, 1 балл — минимальное негативное воздействие, 2 балла — среднее негативное воздействие, 3 балла — максимальное негативное воздействие.

Таблица 2

Модифицированная матрица Леопольда для объектов энергетики
мощностью 1000 МВт

Воздействие / Объект воздействия	ТЭС	АЭС	ВЭС
Выбросы в атмосферный воздух (качество)	3	1	0
Изменение климата (микро)	2	0	1
Почва (загрязнение)	2	2	0
Сбросы сточных вод	3	3	0
Образование отходов	1	3	1
Шум	1	1	2
Вибрация	0	0	2
Тепловое воздействие	3	2	0
Занимаемая площадь	1	1	3
Флора	1	2	1
Фауна	1	0	1
Эстетическая потребность (пейзаж)	1	2	1
Последствия несчастных случаев	1	3	0
Здоровье населения	2	2	0
Здоровье работающих	3	2	0
Безопасность населения	1	3	0
Безопасность работающих	2	3	0
Суммарная интенсивность воздействия	28	30	12

Значимость всех воздействий определяетсяпо формуле:

$$\gamma = \frac{100}{n}, \quad (1)$$

где n – количество ячеек, в которых интенсивность воздействия не равна нулю.

Суммарная интенсивность воздействия:

$$I = \gamma \cdot \sum_{i-1}^{n} \omega_i. \quad (2)$$

Результаты расчета показали, что наименьшую суммарную интенсивность воздействия на окружающую среду оказывает ВЭС.

В табл. 3 приведены сравнительные показатели: достоинства и недостатки ТЭС, АЭС и ВЭС. Главным преимуществом энергии ветра является экологическая чистота, а недостатком —его непостоянность [15].

Таблица 3

Достоинства и недостатки объектов энергетики

	ТЭС	АЭС	ВЭС
Достоинства	– дешевое сырье – малые капиталовложения при строительстве – строительство возможно в любом регионе – занимают малую площадь	– высокая выходная мощность – эксплуатация дешевле, чем у ТЭС – не требуют постоянных и больших поставок топлива – отсутствие выбросов парниковых газов	– используется неисчерпаемый вид энергии — ветер – существенно сокращаются выбросы в окружающую среду – быстрая сборка конструкции – занимаемые территории могут использоваться для с.-х. нужд
Недостатки	– используются невозобновляемые энергетические ресурсы – выброс в атмосферу ряда загрязняющих веществ – нарушение теплового баланса водных объектов – потребляют атмосферный кислород	– большие капитальные вложения – радиоактивные отходы – вероятность несчастного случая, приводящего к необратимым последствиям – длительный срок демонтажных работ	– отведение значительных территорий – располагаются только в определенных местах – шумовое загрязнение – препятствие распространению радиоактивных вибраций – угроза гибели животного мира – металлоёмкость конструкции, что характеризуется загрязнением при производстве деталей

Выводы. Очевидно, что любая антропогенная деятельность негативно действует на окружающую среду, и невозможно достичь абсолютно экологичного способа получения и реализации энергии, поэтому необходимо постоянно находиться в поиске решений по минимизации этого влияния.

Исходя из всех фактов и аргументов, представленных в статье, можно сделать вывод, что при детальном анализе, учете и минимизации возможных факторов негативного воздействия на окружающую среду, в частности человека, ВЭС является самой безопасной станцией генерирования энергии. Загрязнение атмосферы при эксплуатации ВЭС является незначительным, по сравнению с традиционной энергетикой. Даже с учетом эмиссии CO_2 во время производства материалов и оборудования для ВЭС их безопасность в разы больше, чем ТЭС. Снижение выбросов в атмосферный воздух от эксплуатации ветровых станций повышает качество жизни населения. И если говорить в глобальных масштабах, то такая энергетика бережет ресурсы нашей планеты.

Библиографический список

1. Лескина, А. Н. Жизненный цикл объектов строительства и управления недвижимостью / А. Н. Лескина, А. С. Гоштынар, С. А. Бижанов // Символ науки. — 2016. — № 1. — С. 132–137.

2. Крылов, Д. А. «Токсичность» угольной тепло-электрогенерации / Д. А. Крылов // Горная промышленность. — 2016. — № 5 (129) : [сайт]. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/toksichnost-ugolnoy-teplo-elektrogeneratsii (дата обращения: 29.06.2021).

3. Галиулин, Р. В. Загрязнение территории Челябинска тяжелыми металлами при сжигании угля / Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулина // Химия твердого топлива. — 2013. — № 2. — С. 62–64.

4. Ядутов, В. В. Воздействие ТЭС на окружающую среду / В. В. Ядутов, Т. И. Петров, Ю. Н. Зацаринная // Вестник Казанского технологического университета. — 2013. — Т. 16, № 19. — С. 78–79.

5. Ролик, Ю. А. Управление инновационными ветроэнергетическими проектами : моногр. / Ю. А. Ролик. — Рига : Институт транспорта и связи, 2008. — 186 с.

6. Горностай, А. В. Экологические аспекты воздействия ветроэнергетических установок на окружающую среду / А. В. Горностай, Ю. А. Ролик, А. В. Булеков // Наука — образованию, производству, экономике : материалы 14-й Междунар. науч.-техн. конф. — Минск, 2016. — Т. 1. — С. 63.

7. Шавлис, А. К. Влияние возобновляемых источников энергии на окружающую среду / А. К. Шавлис // Актуальные проблемы энергетики : материалы студ. науч.-техн. конф.: [сайт]. — Минск, 2018. — С. 540–541. — URL: https://rep.bntu.by/handle/data/51583 (дата обращения: 15.06.2021).

8. Гужавина, Т. А. Качество жизни в оценках населения региона / Т. А. Гужавина, Д. А. Ластовкина, О. Ю. Озерова // Проблемы развития территории. — 2016. — № 2 (82). — С. 98–111.

9. Крылов, Д. А. Оценки удельных выбросов CO_2 и NO_Xв атмосферу для существующих электростанций России, сжигающих кузнецкий и канско-ачинский угли, с учетом всей энергетической цепочки: от добычи этих углей до потребления их на ТЭС / Д. А. Крылов // Препринт Междун. центра по экологической безопасности Минатома России. — Москва, 2001. — С. 40.

10. Экономические параметры оценки риска для расчета ущерба, обусловленного воздействием на здоровье населения разных факторов / И. Л. Абалкина, В. Ф. Демин, С. М. Новиков [и др.] // Проблемы анализа риска. — 2005. — Т. 2, № 2. — С. 132–138.

11. Крылов, Д. А. Радиоактивность угля и золошлаковых отходов ТЭС / Д. А. Крылов, Г. П. Сидорова // Атомная энергия. — 2013. — Т. 114, № 1. — С. 43–47.

12. Бубенчиков, А. А. Экологическая экспертиза ветроэнергетической установки / А. А. Бубенчиков, Н. Г. Демидова, Н. Г. Мальков // Молодой ученый. — 2016. — № 28–2 (132). — С. 31–35.

13. Безносов, В. Н. Оценка экологической безопасности объектов ветроэнергетики / В. Н. Безносов, А. Л. Суздалева, Х. И. А. Эль-Шаир // Малая энергетика. — 2011. — № 3–4. — С. 37–43.

14. Рыженков, М. А. Экологическая оценка воздействия ВЭС на окружающую среду в процессе эксплуатации / М. А. Рыженков // Успехи в химии и химической технологии. — 2011. — Т. 25, № 10. — С. 28–32.

15. Котеленко, С. В. Преимущества и недостатки нетрадиционной энергетики / С. В. Котеленко, А. С. Рябов // Известия ТулГУ. Технические науки. — 2018. — № 12. — С. 84–88.

Поступила в редакцию 24.09.2021
Поступила после рецензирования 11.10.2021
Принята к публикации 11.10.2021

Об авторах:

Борисова Юлия Сергеевна, студентка кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3384-4256, yuliya.borisova99@mail.ru

Самарская Наталья Сергеевна, доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2117-4221, nat-samars@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Ю. С. Борисова — построение целей и задач исследования, поиск литературных источников, проведение анализа, подготовка текста, формирование выводов; Н. С. Самарская — формирование концепции статьи, выбор тематики, научное руководство, анализ результатов, доработка текста.